

Micro-mechanical electrostatic relay - has tongue-shaped armature etched from surface of silicon@ substrate

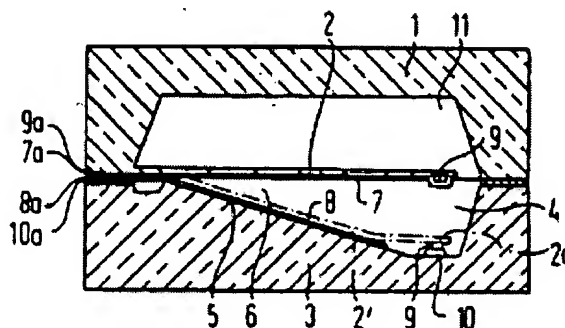
Patent number: DE4205029
Publication date: 1993-02-11
Inventor:
Applicant:
Classification:
- international: H01H49/00; H01H59/00
- european: H01H1/00M; H01H59/00B
Application number: DE19924205029 19920219
Priority number(s): DE19924205029 19920219

Report a data error here

Abstract of DE4205029

At least one tongue-shaped armature (2) is pivotably and flexibly connected at one end to a substrate (1). The free end of the armature carries at least one electrically conductive contact (9). The armature has at least one conductive layer (7). An opposing plate (3) carries at least one conductive layer (8) and at least one counter-contact (10) cooperative with the contact (9) of the armature. The opposing conductive layers (7,8) are insulated from each other and are provided with voltages of opposite polarity. In a first switch position, the armature forms a wedge-shaped air gap (6) with the opposing plate. In a second position, by applying a voltage, to the electrodes (7,8) of the armature and the opposing plate, a contact is closed. By appropriate configuration of the substrate and armature, both lazy contact and change-over contacts can be made.

ADVANTAGE - Achieves highest possible electrostatic force and contact force with smallest possible dimensions and voltage.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 42 05 029 C 1

⑤1 Int. Cl. 5:
H 01 H 59/00
H 01 H 49/00

②1 Aktenzeichen: P 42 05 029.4-34
②2 Anmeldetag: 19. 2. 92
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 11. 2. 93

DE 42 05 029 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

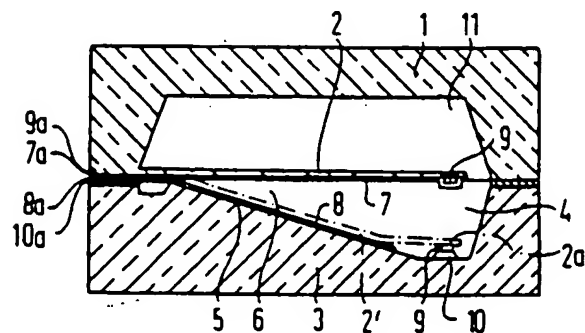
⑦3 Patentinhaber:
Siemens AG, 8000 München, DE

⑦2 Erfinder:
Gevatter, Hans-Jürgen, Prof. Dr.-Ing.; Kiesewetter,
Lothar, Prof. Dr.-Ing.; Schimkat, Joachim,
Dipl.-Phys.; Schlaak, Helmut, Dr.-Ing., 1000 Berlin,
DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 32 07 920 C2
IEEE Transactions on Electron Devices, ED-25,
No. 10, October 1978, S. 1246-1248;

⑤4 Mikromechanisches elektrostatisches Relais

⑤7 Zur Bildung eines mikromechanischen elektrostatischen Relais wird aus der Oberfläche eines Substrats, vorzugsweise Silizium, ein Anker zungenförmig freigeätzt. Das Substrat (1) wird mit seiner Ankeroberfläche mit einem Gegensubstrat (3), vorzugsweise aus Pyrex-Glas, verbunden, derart, daß der Anker (2), der mit einer Elektrode (7) versehen ist, mit einer ebenfalls eine Elektrode (8) tragenden Gegenplatte (5) einen keilförmigen Luftspalt (6) bildet. Als Gegenplatte kann auch ein weiterer Anker an einem zweiten Silizium-Substrat dienen. Durch Anlegen einer Spannung an die Elektroden (7, 8) des Ankers und der Gegenplatte (2, 5) wird ein Kontakt geschlossen. Durch entsprechende Gestaltung von Substrat und Anker können auch Ruhekontakte und Wechslerkontakte geschaffen werden.



DE 42 05 029 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches elektrostatisches Relais gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Relais.

In der DE 32 07 920 C2 ist bereits ein Verfahren zur Herstellung eines elektrostatischen Relais der eingangs genannten Art beschrieben. Dort wird der Anker aus einer Rahmenplatte aus kristallinem Halbleitermaterial herausgeätzt, wodurch der Anker die volle Dicke des Halbleitermaterials besitzt. Der Anker wird dadurch verhältnismäßig starr; zur Sicherung seiner Beweglichkeit wird an der Lagerstelle eine Art Filmscharnier freigeätzt. Außerdem wird zur Vorspannung des Ankers in eine Ruheposition eine eigene Rückstellfaser aus dem Substrat gebildet. Die Rahmenplatte mit dem Anker wird auf eine isolierende Unterlage gesetzt, welche auch die Gegenelektrode trägt. Allerdings besteht zwischen dem Anker und der Gegenelektrode ein verhältnismäßig großer Abstand, der auch bei angezogenem Anker erhalten bleibt. Um ein Durchhängen des mittleren Teils des Ankers dabei zu verhindern, sind zusätzliche isolierende Abstandhalter vorgesehen. Um bei diesem Abstand zwischen Anker und Gegenelektrode die gewünschten Kontaktkräfte zu erzeugen, sind bei diesem bekannten Relais verhältnismäßig große Spannungen erforderlich.

Es ist auch bekannt, eine dünne Ankerfeder aus der Oberfläche eines Silizium-Substrats zu ätzen (IEEE Transactions on Electron Devices, 1978, Seiten 1246 bis 1248). In diesem Fall ist auch die Gegenkontaktelektrode aus der gleichen Ebene der Substratoberfläche wie der Anker gewonnen. Es fehlt somit eine dem Anker großflächig gegenüberstehende Kondensatorplatte zur Erzeugung einer hohen Kontaktkraft.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein mikromechanisches Relais der eingangs genannten Art zu schaffen sowie ein Herstellungsverfahren hierzu anzugeben, bei dem mit möglichst kleinen Abmessungen eine möglichst hohe elektrostatische Anziehungskraft bei möglichst kleinen elektrischen Spannungen und somit auch eine möglichst hohe Kontaktkraft erzeugt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch Anwendung der kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1, hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale der Ansprüche 14 und 15, gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Relais wird mit dem keilförmigen Luftspalt zwischen Anker und Gegenplatte eine hohe Anzugskraft bereits von Beginn der Ankerbewegung an erzeugt. Da nach dem Anziehen des Ankers, abgesehen von den notwendigen dünnen Isolierschichten, keinerlei Luftspalt verbleibt, lassen sich verhältnismäßig hohe Kontaktkräfte gewinnen. Unerwünscht große Luftspalte sowohl im Ruhezustand als auch im angezogenen Zustand des Ankers werden dadurch vermieden, daß der Anker unmittelbar auf der Oberfläche seines Trägersubstrats ausgebildet ist und mit der Oberfläche der Gegenplatte in Kontakt gelangt. Die Keilform des Luftspaltes in der ersten Schaltposition bzw. in der Ruheposition des Ankers erreicht man dadurch, daß der Anker von seiner Lagerstelle aus zum freien Ende hin stetig gekrümmt ist, und zwar in eine Ausnehmung seines Trägers hinein, oder dadurch, daß die Gegenplatte eine abgeschrägte Oberfläche besitzt. Auch eine Anordnung mit zwei voneinander weg gekrümmten Ankern ist möglich.

Für die Herstellung des erfindungsgemäßen Relais

kommen selektive Ätz- und Beschichtungsverfahren in Betracht, wie sie an Halbleitersubstraten, beispielsweise an Silizium-Wafern Anwendung finden.

Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein mikromechanisches Relais mit einem geraden Anker und einer schrägen Gegenplatte,

Fig. 2 ein mikromechanisches Relais mit einem gekrümmten Anker und einer geraden Gegenplatte,

Fig. 3 ein mikromechanisches Umschaltrelais mit zwei voneinander weg gekrümmten Ankern,

Fig. 4a bis 4d verschiedene Verfahrensschritte bei der Herstellung eines Ankers aus bzw. auf einem Silizium-Substrat,

Fig. 5 eine Draufsicht V auf den Anker gemäß Fig. 4d,

Fig. 6 einen Träger mit Anker für ein Relais nach Fig. 1 in perspektivischer Ansicht,

Fig. 7 eine ausschnittsweise Darstellung ähnlich Fig. 6 mit einer abgewandelten Ausführungsform des Ankers,

Fig. 8a bis 8f einzelne Verfahrensschritte bei der Herstellung eines Relais gemäß Fig. 3 aus zwei Halbleitersubstraten.

In Fig. 1 ist schematisch ein mikromechanisches elektrostatisches Relais dargestellt. Dabei ist an einem Träger 1 aus Halbleitersubstrat, vorzugsweise einem Silizium-Wafer, ein zungenförmiger Anker 2 als freigeätzter Oberflächenbereich ausgebildet. Eine Gegenplatte 3, beispielsweise aus Glas, ist an Randbereichen so mit dem Träger 1 verbunden, daß der Anker 2 in einem geschlossenen Kontaktraum 4 liegt. Die Gegenplatte 3 besitzt in dem dem Anker gegenüberliegenden Bereich eine abgeschrägte Fläche 5, welche mit dem Anker einen keilförmigen Luftspalt 6 bildet. Um einen elektrostatischen Antrieb zu erzeugen, ist der Anker an seiner Oberfläche mit einer Elektrode 7 in Form einer Metallschicht versehen. Außerdem ist auf der schrägen Fläche 5 eine Gegenelektrode 8, ebenfalls in Form einer Metallschicht, vorgesehen.

Am freien Ende trägt der Anker ein Kontaktstück 9; außerdem ist an der Gegenplatte ein Gegenkontaktstück 10 angeordnet.

Der Anker wird durch selektive Ätzverfahren aus dem Träger 1 freigelegt, wobei der Innenraum 11 hinter dem Anker durch Unterätzung gemäß Fig. 4 gewonnen wird. Die schräge Fläche 5 an der Gegenplatte 3, die beispielsweise aus Pyrex-Glas besteht, wird durch ein entsprechendes Ätzverfahren gewonnen. Die metallischen Leiterschichten, nämlich die Elektroden 7 und 8 sowie die Kontaktstücke 9 und 10 werden dabei durch übliche Beschichtungsverfahren gewonnen; die jeweiligen Anschlüsse 7a, 8a bzw. 9a und 10a werden ebenfalls als Metallschichten dabei mit aufgebracht. Soweit jeweils zwei oder mehr Metallschichten in einem gemeinsamen Bereich liegen, beispielsweise die Anschlußbahnen 7a und 9a für eine Elektrode und für einen Kontaktanschluß, können diese entweder in einer Ebene nebeneinander liegen und durch Isolierabschnitte getrennt sein oder gegebenenfalls auch übereinander liegen, wobei dann wiederum eine Isolierschicht dazwischen liegt. Als Größenordnung für ein derartiges Relais läßt sich annehmen, daß ein Silizium-Wafer beispielsweise eine Dicke von etwa 0,5 mm hat, so daß die Gesamthöhe des Relais bei etwa 1 mm liegen könnte. Die Länge und Breite des Relais liegen im Millimeterbereich. All diese Größenangaben sind jedoch nur als ungefähre Anhaltspunkte zu nehmen. Der Keilwinkel des Luftspaltes 6 ist übertrieben dargestellt. In Wirklichkeit liegt er in der Größenordnung von 3° oder weniger. Die Verbindung

Die Querschnitte der Lagerstege 34 bis 38 einerseits und der Kontaktzunge 39 andererseits sind so bemessen, daß die Kontaktzunge 39 gegenüber dem Elektrodenenteil 33 härter gelagert ist als der Elektrodenenteil 33 gegenüber dem Substrat 31. Damit wird sichergestellt, daß der Anker der elektrostatischen Anziehungskraft wenig Widerstand entgegengesetzt, nach dem Anziehen an der Gegenelektrode jedoch einen verhältnismäßig hohen Kontaktdruck erzeugen kann.

Fig. 7 zeigt in einer ähnlichen Darstellung wie Fig. 6 (teilweise abgebrochen) eine etwas abgewandelte Form des Ankers. Zum einen dienen zur Lagerung des Ankers 52 bzw. des Elektrodenteils 53 auf dem Substrat 51 zwei längsgerichtete Lagerstege 54 und 55 sowie zwei quer gerichtete, auf Torsion beanspruchte Lagerstege 56 und 57. Auf zweien der Lagerstege, 54 und 55, sind Anschlußbahnen 58 und 59 für die Elektrode 60 vorgesehen. Natürlich sind auch weitere Abwandlungen der Lagerelemente für den Anker denkbar.

Außerdem ist in Fig. 7 am Anker eine teilweise freigeschnittene Kontaktzunge 61 gezeigt, die einen Brückenkontakt 62 trägt und somit keinen eigenen Anschluß besitzt. Dieser Brückenkontakt 62 arbeitet in bekannter Weise mit zwei in einer Ebene liegenden Gegenkontaktelelementen zusammen, die er beim Anschalten des Ankers überbrückt. Natürlich können die Einzelelemente der Darstellung von Fig. 7 für sich ebenso wie die übrigen Einzelelemente der anderen Figuren beliebig kombiniert werden.

In den Fig. 8a bis 8f sind außerdem die Schritte eines abgewandelten Herstellungsverfahrens für ein Relais mit zwei Ankern gezeigt. Dieses Verfahren kommt beispielsweise zur Gewinnung eines Wechslerrelais ähnlich Fig. 3 in Betracht. Im Gegensatz zu dem Verfahren gemäß Fig. 4 wird hier in dem Substratblock jeweils eine zusätzliche Metallschicht erzeugt, welche dann zusammen mit dem Anker einen Ruhekontakt bilden kann, so daß beim Aufeinanderklappen zweier praktisch identischer Schichtsysteme ein Wechslerrelais erzeugt werden kann.

Gemäß Fig. 8a wird zunächst auf einem Silizium-Substrat 71 eine fotolithografisch strukturierte SiO_2 -Schicht 72 und darauf eine Goldschicht 73 abgeschieden. Auf der Gold-Schicht wird sodann eine SiO_2 -Schicht 74 so abgeschieden, daß die Oberseite des innenliegenden Endes 73a der Gold-Schicht von dem SiO_2 unbedeckt bleibt. Dieses Element 73a bildet später einen Ruhekontakt.

Gemäß Fig. 8b wird auf dem gesamten Wafer eine Polysilizium-Schicht 75 abgeschieden, deren Höhe dem gewünschten späteren Kontaktabstand entspricht.

Danach wird gemäß Fig. 8c auf der Polysilizium-Schicht 75 eine Schicht 76 aus Si_3N_4 , dann eine Gold-Schicht 77 und darauf eine SiO_2 -Schicht 78 so abgeschieden, daß das innenliegende freie Ende 77a der Gold-Schicht weder von Si_3N_4 unterlegt noch mit SiO_2 bedeckt ist. Dieses Element wird später der Anker mit Wechslerkontakt. Wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, werden alle diese Schichten oder zumindest jeweils ein Teil dieser Schichten auch am rechten Rand des Wafers zum Zweck des Niveausausgleichs abgeschieden. Auf dem äußeren Rand des Wafers wird dann eine ringsum laufende Pyrex-Glas-Schicht 79 abgeschieden. Ein zweiter Wafer 71', der in gleicher Weise gemäß Fig. 8a bis 8c aufgebaut wird, erhält auf dem Rand eine Metallschicht 80. Die Pyrex-Schicht und die Metallschicht zusammen ermöglichen den Fügeprozeß. Hierbei werden gemäß Fig. 8d die beiden Wafer (einer mit Pyrex-Schicht 79,

einer mit Metallschicht 80) in an sich bekannter Verbindungstechnik, beispielsweise durch anodisches Bonden, gefügt und fixiert.

Gemäß Fig. 8e wird der Wafer-Verbund nunmehr geätzt. Dabei wird das einkristalline Silizium-Substrat 71 bzw. 71' der beiden Wafer anisotrop geätzt, bis die Ätzfront 81 bzw. 81' die Polysilizium-Schicht 75 bzw. 75' erreicht hat. Fig. 8e stellt eine gedachte Momentaufnahme des Ätzvorgangs in dem Moment dar, in dem die Ätzfront die Polysilizium-Schicht erreicht hat.

Nunmehr wird die Polysilizium-Schicht isotrop geätzt. Dabei werden die drei Schichten 76 (Si_3N_4), 77 (Gold) und 78 (SiO_2) freigelegt und bilden einen Anker 82 bzw. 82', der sich infolge seiner inneren Spannungen krümmt. Am freien Ende dieses Ankers 82 bzw. 82' bildet das überstehende Leiterbahnende ein Kontaktstück 77a (77a'), das auf dem ruhenden Gegenkontakt 73a aufliegt (Fig. 8f).

Der Verbund stellt nunmehr ein an sich funktionsfähiges Relais dar und wird durch Abschluß des offenliegenden Relaisinneren gehäust, z. B. durch Fügen jeweils einer Deckplatte auf Ober- und Unterseite des Verbundes. Dadurch wird das Relais von der Umgebung hermetisch abgedichtet. Vor dem Gehäuse kann das Relais mit einer Schutzgasatmosphäre befüllt werden.

Bei dem anhand von Fig. 8 beschriebenen Herstellungsverfahren wird somit aus zwei praktisch identischen Schichtsystemen, die auf Silizium-Substraten aufgebracht sind, durch Aufeinanderklappen und Fügen ein massiver Block hergestellt. In dem Innenraum dieses Blocks werden dann durch anisotropes Ätzen des Substrats und durch isotropes Ätzen des innenliegenden Polysiliziums die federnden Anker 82 und 82' freigelegt. Damit werden während des Beschichtungsvorgangs erzeugte innere Spannungen, nämlich eine Zugspannung in der Si_3N_4 -Schicht 76 und eine Druckspannung in der SiO_2 -Schicht 78, im sozusagen vorletzten Fertigungsschritt freigesetzt, wodurch der schaltbare Anker gekrümmt und zum Gegenkontakt hin vorgespannt wird.

Damit wird innerhalb jeweils eines Wafers ein Ruhekontakt gebildet. Der schaltbare Anker kann später durch elektrostatische Kräfte (siehe Fig. 3) die äußeren Kontaktpaare öffnen und das innere Kontaktpaar schließen.

Wie alle Schichten sind auch in Fig. 8 die Isolationschichten übertrieben dick gezeichnet. Der dabei in den Fig. 8d bis 8f erweckte Eindruck, die Isolationschichten 76 bzw. 78 würden ein Schließen des inneren Kontaktpaares 77a-73a verhindern, trifft in Wirklichkeit nicht zu. Lediglich der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß die Schicht 77 voneinander isolierte Leiterbahnen für die jeweilige Ankerelektrode einerseits und für den Kontaktanschluß andererseits bildet.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches elektrostatisches Relais mit mindestens einem Anker (2; 22, 24; 32, 52; 82), welcher einseitig mit einem Träger (1; 21, 23; 31; 51; 71) elastisch schwenkbar verbunden ist, mit seinem freien Ende mindestens ein Kontaktstück (9, 12; 25, 26; 40; 62; 77a) trägt und zumindest eine elektrisch leitende Schicht (7; 30; 43, 44; 60, 77) aufweist, ferner mit mindestens einer Gegenplatte (3, 24, 82), welche zumindest eine elektrisch leitende Schicht (8; 29; 77) und zumindest ein mit dem Kontaktstück des Ankers zusammenwirkendes Gegenkontaktstück (10; 26; 73a) trägt und wobei die einander

des Trägers 1 mit der Gegenplatte erfolgt beispielsweise durch anodisches Bonden am Glas-Si-Übergang oder über Metall-Glas-Schichten. Auf diese Weise kann der Abstand zwischen Anker und Gegenplatte minimiert werden.

Beim Anlegen einer Spannung an die beiden Elektroden 7 und 8 wird der Anker 2 an die schräge Fläche 5 der Gegenplatte angezogen, so daß er die gestrichelte Position 2' einnimmt. Das freie Ende 2a des Ankers mit dem Kontaktstück 9 kommt dabei bereits vor dem Erreichen der Ankerendstellung mit dem Gegenkontaktstück 10 in Berührung, so daß sich der Anker im Endbereich durchbiegt. Auf diese Weise wird der Kontaktdruck erzeugt. Dabei ist natürlich selbstverständlich, daß zumindest eine der Elektroden 7 bzw. 8 an ihrer Oberfläche mit einer Isolierschicht versehen ist, um einen Kurzschluß zu vermeiden.

Fig. 2 zeigt eine etwas abgewandelte Ausführungsform. In diesem Fall ist der Anker 2 von der Gegenplatte weg in den Innenraum 11 gekrümmt. Bei einer genügend großen Krümmung des Ankers kann die Gegenplatte ohne Schräge gefertigt werden, so daß die Elektrode 8 auf einer zur Außenoberfläche parallelen Innenoberfläche liegt. Die Krümmung des Ankers erreicht man bei der Herstellung durch eine entsprechende Schichtspannung, die wiederum entweder durch eine bestimmte Dotierung oder durch Aufbringen unterschiedlicher Schichten gewonnen wird. Eine hohe Dotierung mit Bor beispielsweise ergibt eine Zugspannung, während eine Dotierung mit Germanium eine Druckspannung erzeugt. So könnte man zur Erreichung einer Krümmung nach innen die Innenseite mit Bor und/oder die Außenseite des Ankers mit Germanium dotieren.

Durch die Krümmung und Vorspannung des Ankers in den Innenraum 11 des Substrats könnte auch ein Ruhekontakt bzw. ein Umschaltkontakt gewonnen werden. Wie in Fig. 2 angedeutet ist, besitzt der Anker ein zusätzliches Kontaktstück 12, während im Träger 1 ein zusätzliches Gegenkontaktstück 13 andeutungsweise gezeigt ist. Für dieses Gegenkontaktstück 13 müßte beispielsweise eine zusätzliche Anschlußbahn 13a vorgesehen werden.

Fig. 3 zeigt eine abgewandelte Ausführungsform, diesmal in perspektivischer Schnittdarstellung, wobei ein Umschaltkontakt mit zwei Ankern verwirklicht ist. Das Relais von Fig. 3 besitzt einen ersten Träger 21 aus Silizium-Substrat mit einem Anker 22 sowie einen zweiten Träger 23, ebenfalls aus Silizium-Substrat, mit einem zweiten Anker 24. Beide Anker sind voneinander weg ins Innere ihres jeweiligen Substrats gekrümmt und bilden so an der gemeinsamen Berührungsstelle den keilförmigen Luftspalt. Am freien Ende besitzt der Anker 22 ein Kontaktstück 25, in gleicher Weise ist am Anker 24 ein Kontaktstück 26 angeordnet. Im Inneren des Substrats 21 ist außerdem ein Gegenkontaktstück 27, am Substrat 23 ein Gegenkontaktstück 28 vorgesehen. Jedes dieser Kontaktstücke besitzt nach außen einen Anschluß, nämlich 25a, 26a, 27a und 28a. Die beiden Anker besitzen auf ihrer Oberfläche außerdem je eine Elektrode 29 bzw. 30, die ebenfalls je einen nur angedeuteten Anschluß 29a bzw. 30a besitzen.

Im Ruhezustand sind die beiden Anker jeweils nach innen vorgespannt, so daß jeweils die Kontakte 25 und 27 sowie 26 und 28 geschlossen sind. Wird an die beiden Elektroden 29 und 30 Spannung angelegt, so legen sich die beiden Anker 22 und 24 aneinander, wodurch die Kontaktstücke 25 und 26 sich berühren und Kontakt geben.

Anhand der Fig. 4a bis 4d soll nun ein mögliches Herstellungsverfahren für einen Anker gemäß Fig. 1 oder 2 angegeben werden. Hierbei wird gemäß Fig. 4a zunächst auf einem Silizium-Substrat 1 ein Oberflächenbereich entsprechend der späteren Ankerfläche mit Bor dotiert (Konzentration größer $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$). Es entsteht dabei eine p⁺-Silizium-Schicht von beispielsweise 10 µm Tiefe. Als Maske dient dabei beispielsweise eine SiO₂-Schicht von etwa 0,2 µm Dicke. Durch die hohe Dotierung mit Bor wird die betreffende Schicht gegen das spätere Unterätzen resistent. Außerdem erzeugt die Bor-Dotierung in der Schicht eine Zugspannung, durch die eine erwünschte Krümmung des Ankers nach innen bewirkt wird.

Nach Abdeckung der p⁺-Schicht mit SiO₂ wird eine Metallschicht aufgebracht, die in einer Ebene sowohl eine Elektrodenschicht für den elektrostatischen Antrieb einschließlich einer Zuleitung als auch eine elektrische Stromzuführung für den späteren Ankerkontakt bildet. Die nebeneinander liegenden Metallschichten werden durch eine entsprechende Maskierung elektrisch voneinander getrennt. Als Metall kommt beispielsweise Aluminium in einer Schichtdicke von 0,3 bis 1 µm in Betracht (siehe Fig. 4b).

Nach Aufbringen einer weiteren Isolierschicht, z. B. SiO₂ oder Si₃N₄ mit Hilfe plasma-unterstützter Gasphasenabscheidung (PECVD), von beispielsweise 0,2 µm Dicke wird mit Hilfe einer Maske aus Fotoresist ein Goldkontakt 9, beispielsweise mit einer Schichtdicke von mehr als 10 µm, aufgebracht.

Schließlich wird gemäß Fig. 4d die Ankerzunge 2 freigelegt. Dies geschieht durch anisotropes Ätzen an drei Seiten, wie durch die Pfeile 14 angedeutet ist. Wie aus Fig. 5 in einer Draufsicht zu erkennen ist, entsteht durch dieses Ätzen ein Graben 15, der den Anker 2 auf drei Seiten umgibt. Außerdem wird der Anker 2 entsprechend der gestrichelten Linie 16 in Fig. 4d unterätzt. Der Anker 2 bleibt also als freitragende Zunge übrig. Bei entsprechender Dotierung mit Bor krümmt er sich danach gemäß Fig. 2 nach innen.

In Fig. 5 ist in einer Draufsicht (ohne Berücksichtigung der SiO₂-Isolierschicht) die Elektrodenverteilung auf dem Anker gezeigt. Zu erkennen sind zwei Elektrodenflächen 17a und 17b mit jeweils einer Anschlußfahne, außerdem eine Stromzuleitung 9a für das Kontaktstück 9. Die Metalloberflächen sind durch Schraffierung kenntlich gemacht. Natürlich sind auch andere Geometrien hierfür denkbar.

Fig. 6 zeigt eine etwas abgewandelte Ausführungsform eines Ankers aus bzw. auf einem Substrat. Dabei ist wiederum ein Silizium-Substrat 31 vorgesehen, auf welchem durch selektives Beschichten und Ätzen der Oberfläche ein freitragender Anker gewonnen wird. Dieser Anker 32 besitzt einen großflächigen Elektrodenteil 33, der lediglich über verhältnismäßig schmale Lagerstege 34, 35 und 36 sowie 37 und 38 am Substrat hängt. Dabei dienen die schräg gestellten Stege 37 und 38 zur seitlichen Stabilisierung des Ankers. Von dem Elektrodenteil 33 erstreckt sich eine schmale, zum Teil vom Anker freigeschnittene Kontaktzunge 39 nach vorne, welche an ihrem freien Ende ein Kontaktstück 40 trägt. Von dem Kontaktstück 40 führt eine Stromzuleitungsbahn 41 über den Lagersteg 35 auf das Substrat zu einem Kontaktanschluß 42, während auf dem Elektrodenteil 33 liegende Elektrodenschichten 43 und 44 jeweils über entsprechende Leiterbahnen 45 und 46 auf den Lagerstegen 34 und 36 mit einem Elektrodenanschluß 47 verbunden sind.

gegenüberstehenden leitenden Schichten (7, 8; 30, 29; 77, 77) gegeneinander isoliert und mit entgegengesetzter Polarität an Spannung anlegbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (2; 22; 82) in einer ersten Schaltposition mit der Gegenplatte (3; 24; 82) einen keilförmigen, zur gemeinsamen Befestigungsstelle spitz zulaufenden Luftspalt (6) bildet, während in einer zweiten Schaltposition beim Anlegen der Spannung der Anker und die Gegenplatte ohne Luftspalt großflächig aufeinanderliegen.

2. Relais nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (2) den keilförmigen Luftspalt (6) mit einer feststehenden Gegenplatte (3) bildet, wobei das Ankerkontaktstück (9) in der ersten Schaltposition mit einem auf dem Anker-Träger (1) angeordneten Ruhekontaktstück (13) und/oder in der zweiten Schaltposition mit einem der Gegenplatte (3) zugeordneten Arbeitskontaktstück (10) Kontakt gibt.

3. Relais nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenplatte ein zweiter Anker (29; 82') ist, daß die zwei voneinander weg gekrümmten Anker (22, 24; 82, 82') den keilförmigen Luftspalt zwischeneinander bilden und daß beide Anker mit je einem Kontaktstück (25, 26; 77a, 77a') versehen sind und in der zweiten Schaltposition einen Arbeitskontakt bilden.

4. Relais nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer der Anker (22, 24; 82) mit einem Ruhekontaktstück (27, 28; 73a) an dem ihm zugeordneten Träger (21, 23; 71) in der ersten Schaltposition einen Ruhekontakt bildet.

5. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Ruhelage des Ankers (2; 82) durch eine stetige Krümmung über einen wesentlichen Teil seiner Gesamtlänge gebildet ist.

6. Relais nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmung des Ankers durch die Dotierung einer Oberflächenschicht mit einem eine Längsspannung erzeugenden Element (z. B. Bor) hervorgerufen ist.

7. Relais nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmung des Ankers (82, 82') durch mindestens zwei Schichten unterschiedlicher Spannung (76, 78) gebildet ist.

8. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Kontaktstück des Ankers (32; 52) gegenüber dem Elektrodenteil (33; 53) des Ankers elastisch gelagert ist.

9. Relais nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die elastische Lagerung des Kontaktstücks (40; 62) gegenüber dem Elektrodenteil des Ankers (33; 53) härter ist als die elastische Verbindung (34 bis 38; 54 bis 57) zwischen Anker (32; 52) und Träger (31; 51).

10. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (2) aus einer dreiseitig freigelegten, unterätzten Oberflächenschicht einer Halbleiter-, z. B. Silizium-Substratplatte (1; 31; 51) gebildet ist, während die Gegenplatte (3) auf einem mit der Oberfläche der Substratplatte verbundenen Gegensubstrat, insbesondere aus Glas, ausgebildet ist.

11. Relais nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Gegenplatte (3) ein Substrat, vorzugsweise aus Pyrex-Glas, mit schräg geätzter Oberfläche (5) dient.

12. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 9, da-

durch gekennzeichnet, daß zwei Substratplatten (21, 23; 71, 71') mit ihren jeweils einen freigeätzten Anker (22, 24; 82, 82') bildenden Oberflächen aufeinandergelegt sind, wobei die Befestigungsstellen der beiden Anker unmittelbar aufeinanderliegen und die freien Enden der Anker jeweils in den freigeätzten Bereich ihres zugehörigen Substrats hineingekrümmt sind.

13. Relais nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Substrat (71) unterhalb der den Anker bildenden Oberflächenschicht (77) eine weitere, partiell freigeätzte Kontaktschicht (73) vorgesehen ist, die mit dem gekrümmten Ankerende (77a) einen Ruhekontakt bildet.

14. Verfahren zur Herstellung eines Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

a) auf einem Silizium-Substrat (1) wird ein der späteren Ankerfläche entsprechender Bereich mit einem ätzstoppenden Element (z. B. Bor) dotiert;

b) auf dem vorgesehenen Ankerbereich werden durch selektive Abscheidung von Metall- und Isolierschichten eine Elektrode (7), ein Kontaktstück (9) und gegebenenfalls eine Stromzuführung zu dem Kontaktstück (9a) erzeugt;

c) durch Freiätzen des Ankerbereiches an drei Seiten sowie durch Unterätzung des dotierten Bereiches wird ein zungenförmig frei liegender Anker gewonnen;

d) das Substrat wird an seiner den Anker bildenden Oberfläche mit der Oberfläche eines ein Gegenkontaktstück (10) und eine Gegenelektrode (8) tragenden Gegensubstrats (3) verbunden.

15. Verfahren zur Herstellung eines Relais nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

a) auf einem Silizium-Substrat (71) wird eine eine Gegenkontaktschicht bildende Metallschicht (73) zwischen zwei Isolierschichten (72, 74) partiell abgeschieden und mit einer Polysilizium-Schicht (75) abgedeckt;

b) auf der Polysilizium-Schicht wird zwischen Isolierschichten mit unterschiedlicher innerer Spannung (76, 78) eine weitere, eine Anker-elektrode und eine Ankerkontaktschicht bildende Metallschicht (77) partiell abgeschieden;

c) zwei in vorgenannter Weise beschichtete Substrate (71, 71') werden mit ihren Oberflächen einander zugewandt miteinander verbunden;

d) beide Substrate werden von ihren Außenseiten her zunächst bis zur Polysilizium-Schicht anisotrop geätzt, danach werden durch isotropes Ätzen der Polysilizium-Schicht jeweils die zugehörigen Anker (82, 82') freigeätzt.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

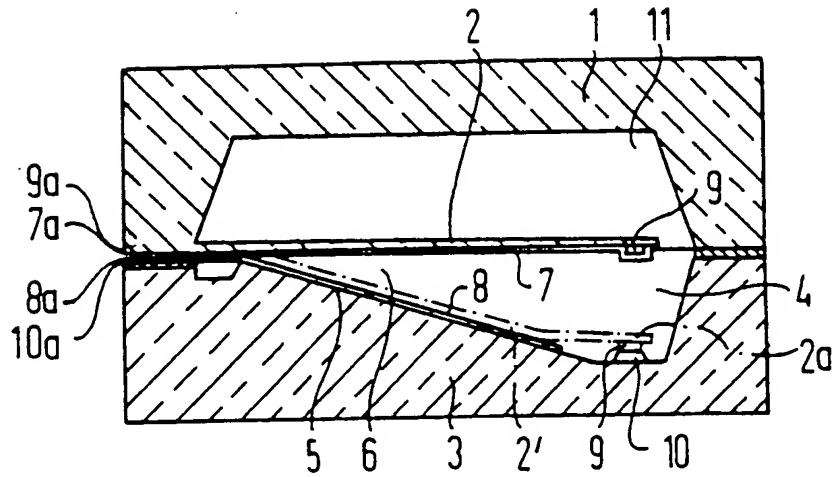


FIG 2

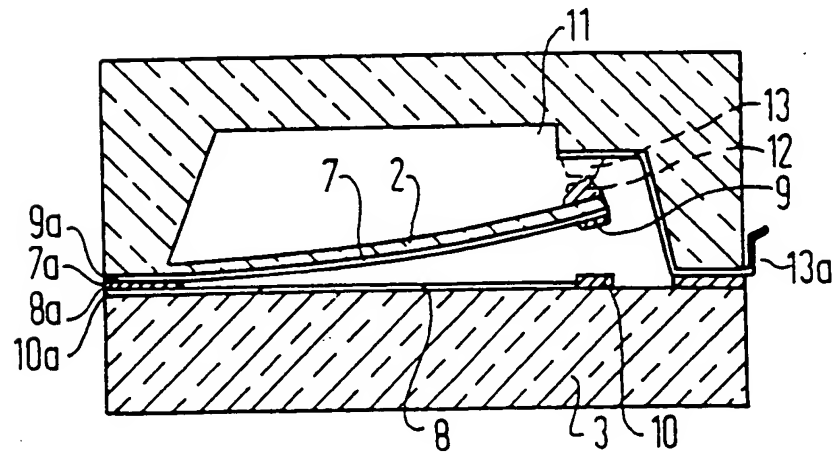


FIG 3

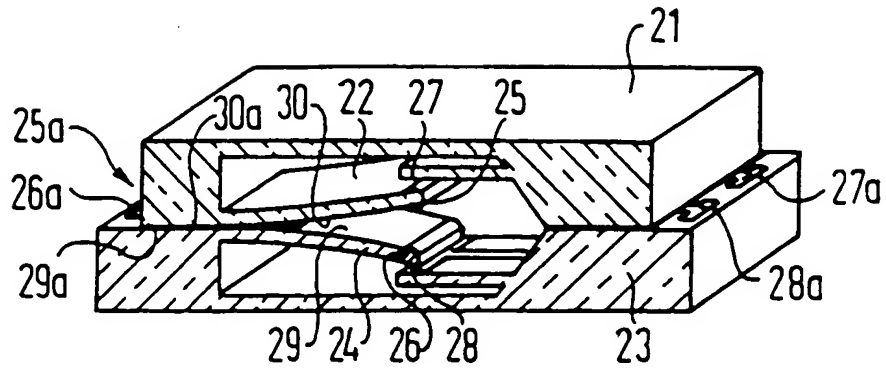


FIG 5

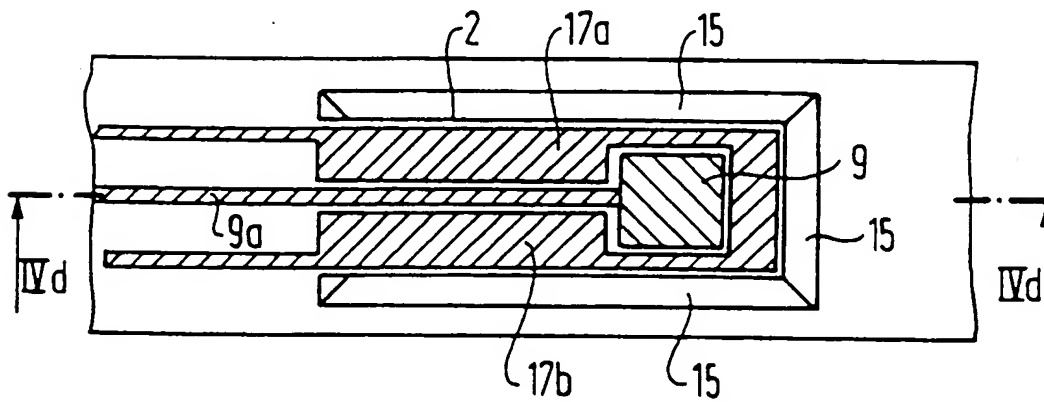


FIG 4

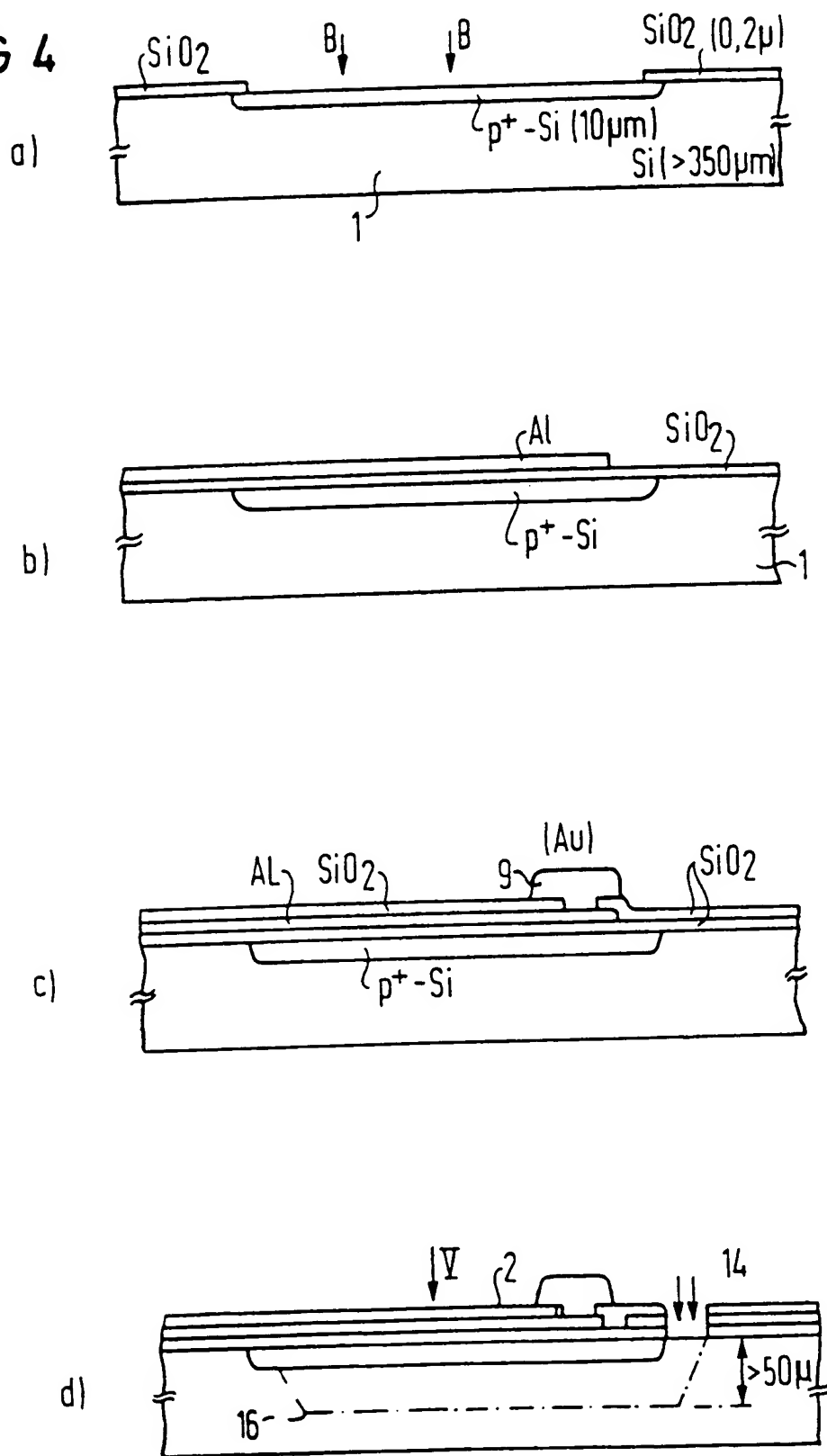


FIG 6

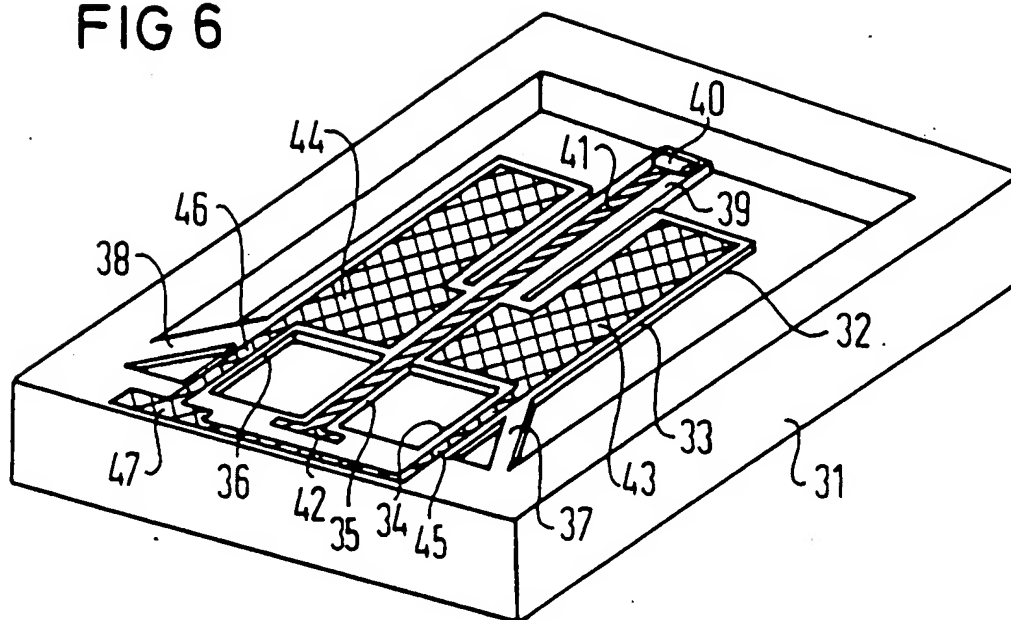


FIG 7

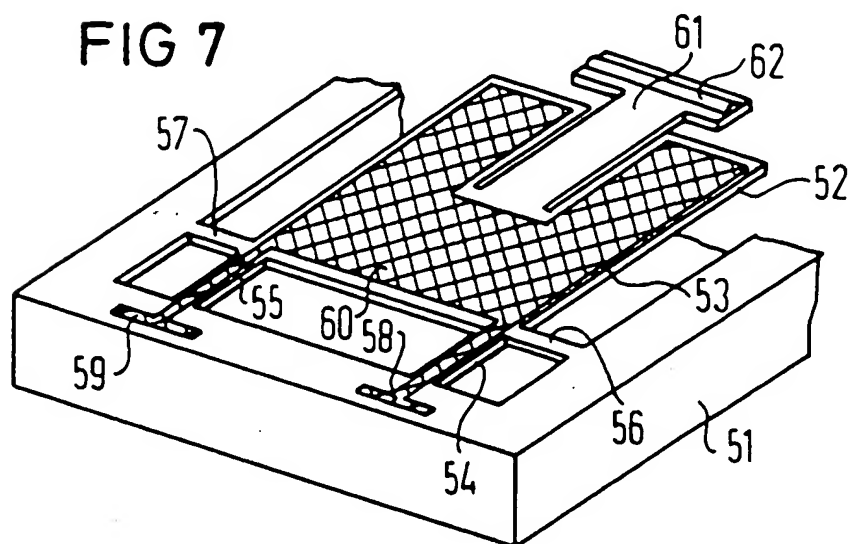
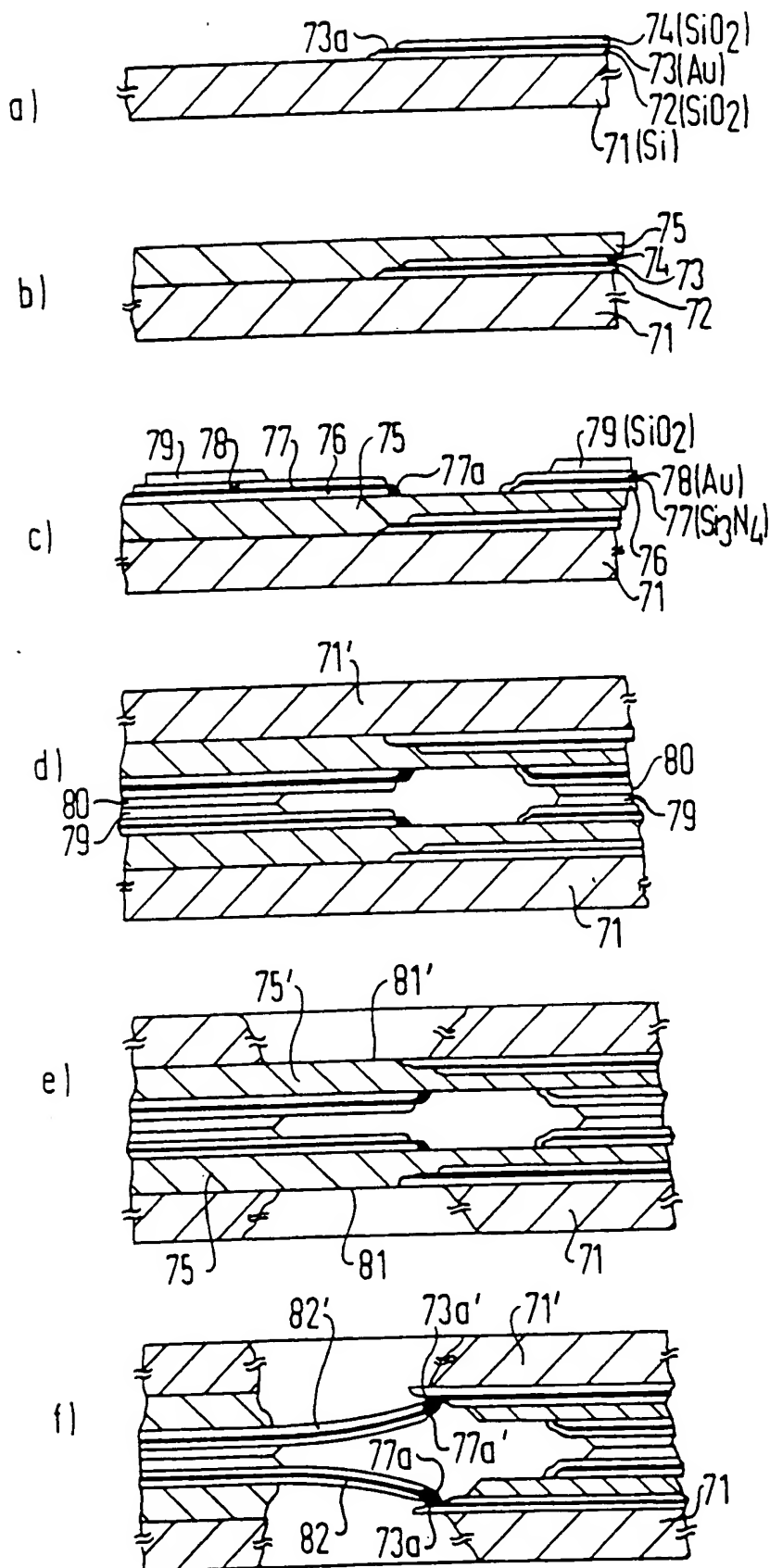


FIG 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)